

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

**2 452 193**

(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 79 07382**

(54) Moteur électrique sphérique.

(51) Classification internationale (Int. CL<sup>3</sup>). H 02 K 1/06; 17/02.

(22) Date de dépôt..... 23 mars 1979, à 14 h 39 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 42 du 17-10-1980.

(71) Déposant : Association dite : GRADIENT, résidant en France.

(72) Invention de : Michel Kant, Alain Virolleau et George Kaminski.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Boettcher,  
23, rue La Boétie, 75008 Paris.

L'invention concerne un moteur sphérique pour commande directe d'une articulation à rotule autour d'un centre de rotation.

5 Dans les commandes de servo-mécanismes il est parfois nécessaire de commander un organe selon deux degrés de liberté angulaires autour d'une rotule ou joint sphérique avec en outre, éventuellement, une commande en rotation.

10 Le but de l'invention est de proposer un moteur sphérique à deux degrés de liberté par rapport à un axe de référence, c'est-à-dire un moteur pour la commande d'une pièce qu'on appellera conventionnellement rotor, à orienter dans l'espace, par rapport à un axe, autour d'un centre de rotation situé sur cet axe. Un autre but de l'invention est de proposer un tel moteur capable, en outre, de faire tourner le  
15 rotor autour de l'axe de référence.

Le premier but de l'invention est obtenu par le fait que le moteur comporte une pièce sphérique à axe polaire entourée d'une pièce enveloppante à surface intérieure  
20 sphérique laissant libres deux espaces en forme de calottes annulaires diamétralement opposées selon un axe, dit axe polaire, passant par le centre de rotation, la pièce sphérique et la pièce enveloppante constituent, l'une, au moins un inducteur créant un champ magnétique à composantes distribuées sensiblement dans des plans radiaux par rapport à  
25 son axe polaire, l'autre, un induit d'un moteur pivotant autour d'au moins un axe perpendiculaire à l'axe polaire, l'une et l'autre de la pièce sphérique et de la pièce enveloppante constituant ainsi l'une le stator, l'autre le rotor du moteur. Dans la pratique le stator sera l'inducteur et le rotor l'in-  
30 duit. Les deux formes sphériques étant concentrique, l'intervalle les séparant, mesuré dans le sens radial constitue l'entrefer.

Selon l'invention, pour faire pivoter l'axe polaire du rotor autour d'un premier axe perpendiculaire  
35 à l'axe polaire du stator, la pièce constituant inducteur(s) comprend un inducteur à deux armatures symétriques par rapport audit premier axe et s'étendant chacun sur un secteur sphérique, et, pour faire pivoter l'axe polaire du rotor selon un angle

stérique, la pièce constituant inducteur(s) comprend deux inducteurs ayant chacun deux armatures sectorielles symétriques, respectivement, autour de deux axes en quadrature dans un plan de symétrie perpendiculaire à l'axe polaire du stator.

5 Lorsque, selon le cas général, le rotor ou induit sera la pièce sphérique et le stator ou inducteur l'unité enveloppante, chaque armature sera d'une pièce unique ou assemblée constituant noyaux magnétiques et culasse d'un  
10 demi-inducteur ou stator. Il sera alors conforme à l'invention que les noyaux magnétiques s'étendent chacun en arc centré sur le centre de rotation et perpendiculaire au méridien médian de chaque armature.

Selon un mode de réalisation préféré, les noyaux magnétiques et les bobines du bobinage, disposées entou-  
15 rant les noyaux magnétiques, sont constitués respectivement, deux à deux, en paires distribuées sur les deux armatures d'un même inducteur symétriquement par rapport au centre de rotation et par rapport à un axe de symétrie dudit inducteur, et deux armatures non appariées sont séparées par un intervalle dans  
20 lequel sont logées les têtes des bobines du bobinage ondulé sans recouvrement mutuel.

Il est avantageux que chaque armature soit feuilletée en tôles disposées selon des méridiens.

Le moteur de l'invention pourra, ———  
25 selon tout mode connu d'alimentation commutable ou non, fonctionner en moteur asynchrone ou un moteur à reluctance variable ou encore selon les deux modes réunis.

Il est avantageux que l'induit soit en fer doux massif, par exemple recouvert de cuivre pour un fonction-  
30 nement asynchrone, et comportant des encoches circulaires selon des plans perpendiculaires à son axe polaire pour un fonctionnement à reluctance variable.

Selon une variante convenant au fonction-  
nement à reluctance variable, l'induit comporte, sur chaque  
35 secteur vis-à-vis de chaque armature du ou des inducteurs, des encoches distribuées selon des plans diamétraux perpendiculaires au méridien médian du secteur considéré. Il est alors conforme à l'invention, que les encoches contiennent un conducteur

en cuivre.

Le second but selon l'invention est atteint par le fait que, pour faire tourner en outre le rotor autour de son axe polaire, la pièce constituant inducteur(s) comprend un inducteur supplémentaire disposé concentriquement et créant un champ tournant autour de l'axe polaire de la pièce constituant inducteur. A cet effet, il est conforme à l'invention que les armatures comportent, chacune, deux séries d'encoches et deux séries de bobinages croisés dont une série d'encoches et une série de bobinages disposés selon des méridiens.

On pourra également réaliser un ensemble à trois et même quatre degrés de liberté en combinant le moteur de l'invention avec un moteur linéaire et/ou rotatif logé dans le rotor et dont la direction de translation et/ou l'axe de rotation sont dirigés au repos selon l'axe polaire du moteur de l'invention.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description, qui sera donnée ci-après uniquement à titre d'exemple, de modes de réalisation. On se reportera à cet effet aux figures annexées dans lesquelles :

- La figure 1 est une vue perspective schématique d'un mode de réalisation d'un moteur selon l'invention et montrant notamment la structure du stator ;
- la figure 2 est une vue en coupe équatoriale à plus petite échelle du moteur de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue externe avec coupe partielle d'un rotor selon l'invention ;
- la figure 4 est une variante du rotor de la figure 3 ;
- la figure 5 est une vue extérieure d'un autre rotor selon l'invention représenté en regard d'une fraction de la partie encochée du stator.
- la figure 6 est une vue en transparence d'une pièce statorique pour un moteur selon l'invention à trois degrés de liberté.

La description faite en regard de la figure 1 sera faite par référence à un centre O et trois axes orthogonaux passant par ce centre, respectivement  $x'ox$ ,  $y'oy$ ,  $z'oz$ , l'axe  $z'oz$  étant orthogonal en O au plan  $xOy$ .

Le moteur comprend un induit ou rotor 1 de forme sphérique dont un axe sera privilégié comme axe polaire, portant par exemple un organe actif pour une transmission d'effort par déplacement angulaire par rapport à au moins l'un des deux plans  $xOz$  et  $yOz$ .

Le stator, désigné dans son ensemble par 2, comprend deux inducteurs 3 et 4, chacun en deux pièces séparées 5, identiques à surfaces intérieures sphériques concentriques à la surface extérieure du rotor 1. Les quatre pièces 5 sont rigidement liées les unes aux autres, l'intervalle entre leurs surfaces intérieures et la surface extérieure du rotor constituant l'entrefer du moteur. Les quatre pièces 5 sont distribuées, non jointives, de façon sectorielle sur un méridien d'une sphère de référence d'axe  $z'Oz$ , centrées deux à deux symétriquement respectivement sur  $x'Ox$  et  $y'Oy$ . Elles sont tronquées à leurs extrémités les plus voisines des pôles de la sphère sur laquelle elles sont distribuées, de façon à y laisser deux espaces libres 6 en forme de calottes sphériques polaires d'angle au sommet égal à  $2\alpha$ .

La face interne du stator tient lieu de portée sphérique pour le rotor qu'il guide sans jeu. Mais on pourra réaliser tout autre mode de palier connu, tel que palier fluide constitué entre stator et rotor ou paliers annulaires à billes.

Les pièces 5 constituent, chacune, une armature constituant à la fois noyaux magnétiques 10 et culasse 11 du demi-inducteur 3 ou 4 auquel elle appartient. A cet effet elles sont en matériau magnétique usiné en forme de tétragones à surface sphérique délimités par deux parallèles et deux méridiens de la sphère de référence. Leurs surfaces intérieures comportent des alternances de noyaux 10 et d'encoches 7 parallèles dirigés les uns et les autres selon des parallèles de la sphère de référence et dont, pour la clarté de la figure 1, une seule encoche 7 a été représentée complètement. Il faut comprendre que les pièces 5 d'un même inducteur, 3 ou 4, sont identiques et symétriques de façon à constituer à elles deux un stator, dont les bobinages convenablement alimentés provoquent une rotation du stator autour de l'axe  $y'Oy$  ou

x'oz perpendiculaire à celui, x'ox ou y'oy sur lequel elles sont alignées chacune centrée sur le point d'intersection de ce dernier axe avec le méridien de la sphère de référence.

5 Un intervalle méridien 9 entre deux pièces 5 non appariées est prévu pour le logement des têtes de bobines 8 d'un bobinage ondulé. Pour la clarté de la figure deux têtes de bobines 8 seulement ont été représentées.

10 Si, comme cela est préférable pour la simplification de la construction, les quatre pièces 5 sont identiques, chacune d'elle s'étend donc sur moins de 90° du méridien de la sphère de référence.

15 On voit que, par les moyens qui ont été décrits jusqu'ici, l'axe polaire du rotor peut être commandé en toute position angulaire dans l'espace par rapport à l'axe z'oz de la sphère de référence, c'est-à-dire du stator. Si cet axe polaire porte un organe de transmission de force, par exemple une tige de commande, la possibilité de basculement angulaire en toutes directions sera limité à la zone angulaire limitée par les espaces libres 6, c'est-à-dire à un angle conique  $\alpha$  autour de z'oz. Si la zone axiale du rotor est évidée selon un cylindre 24 comme aux figures 3 et 4, elle peut recevoir le stator d'un moteur linéaire et/ou rotatif à stator extérieurement cylindrique et dont la direction de translation et/ou de rotation permettra d'obtenir au total trois ou quatre degrés de liberté pour son rotor.

25 En ce qui concerne le mode de bobinage, les commentaires suivants seront donnés. Sur les quatre pièces 5, sont répartis deux bobinages indépendants. Mais deux noyaux diamétralement opposés, bien qu'ayant des bobines séparées 30 toujours alimentées simultanément, constituent un bobinage. Le nombre, ainsi que l'espacement, des encoches 7 est choisi en fonction du nombre de pôles désirés et de la vitesse de pivotement du champ magnétique désiré.

35 Dans les encoches sont disposées les bobines, dont la répartition sera d'un type connu, afin que leur alimentation triphasée de fréquence  $f$  engendre sur les noyaux statoriques  $p$  paires de pôles et que la distribution du champ

se déplace à la vitesse angulaire  $\omega = \theta.f$ ,  $\theta$  étant l'angle séparant deux pôles successifs de même nom. Les bobines de deux noyaux diamétralement opposés devront être reliées de telle manière que la rotation du champ s'effectue dans le même sens que les deux noyaux de fer.

Dans la version à reluctance variable, les bobines seront alimentées en courant continu et c'est la succession des séquences d'alimentation qui générera le mouvement. Dans la version mariant les deux systèmes, l'alimentation des bobines sera une fonction périodique du temps possédant une composante continue plus le fondamental de fréquence  $f$ . Les composantes continues se chargeront de créer une distribution de champ fixe dans l'espace et pouvant se déplacer pas à pas suivant les séquences d'alimentation pour le système à reluctance et les fondamentaux à la fréquence  $f$  généreront une distribution de champ se déplaçant à la vitesse angulaire  $\omega = \theta - f$  qui sera à l'origine du système asynchrone en générant des courants induits dans le rotor.

Chacune des quatre pièces 5 peut être feuilletée ou non. Il y aura avantage à la feuilletter lorsqu'elle sera utilisée en système asynchrone pour ne pas générer de courants de Foucault parasites au stator. Il n'y en aura pas quand elle sera utilisée en moteur à reluctance variable. Dans le cas où elle est feuilletée, la direction de feuilletage sera perpendiculaire aux encoches laissant place aux bobines.

Dans l'un ou l'autre des systèmes (asynchrone ou à reluctance ou les deux ensemble) l'alimentation des bobines des deux pièces 5 symétriques par rapport à O de l'inducteur 4 générera des couples tendant à faire pivoter le rotor autour de l'axe x'Ox et l'alimentation des pièces 5 de l'inducteur 3 à faire pivoter le rotor autour de l'axe y'Oy. Dans le système asynchrone les deux mouvements pourront se faire simultanément et selon des déplacements angulaires quelconques. Dans le système à reluctance, un mouvement de pivotement autour d'un axe ne se fera qu'après que le rotor soit revenu à une position pour laquelle stator et rotor sont axés dans le mouvement autour de l'autre axe.

La forme extérieure du rotor 1 est celle

d'une sphère, qui peut être tronquée dans les parties non fonctionnelles.

Suivant le système de fonctionnement retenu différentes sortes de rotor sont conformes à l'invention.

5 Pour le système asynchrone trois types de rotor peuvent convenir, le dernier type étant le plus performant :

- en fer doux massif évidé à l'intérieur et d'épaisseur requise pour le passage du flux sans atteindre la saturation.
- 10 - en fer doux massif recouvert d'une couche d'épaisseur constante de cuivre (le cuivre transportant les courants induits)
- en fer doux massif pourvu d'encoches rotoriques, dont les creux sont éventuellement occupés partiellement par du cuivre. Dans un système asynchrone la forme des encoches importe relativement peu.

15 Dans un mode de réalisation représenté à la figure 3, le rotor 1 est muni d'encoches circulaires 21. Selon une variante du précédent, représentée à la figure 4, les encoches circulaires 21 du même rotor 1 sont remplies de  
20 cuivre 22. Dans ce cas, quatre encoches méridiennes 23 sont utiles pour la fermeture des courants induits prenant naissance dans le cuivre lorsque toutes les encoches 21 sont remplies de cuivre 22. Les quatre encoches méridiennes 23 peuvent être  
25 elles-mêmes remplies de cuivre. Elles se situent, par rapport au stator, vis-à-vis des intervalles méridiens 9 recevant les têtes de bobines 8.

Dans une version à reluctance variable représentée à la figure 5 le rotor, en fer doux présente des encoches 14 dont la forme et l'orientation ne peuvent plus  
30 être quelconques. Si on divise le rotor 1 selon quatre méridiens 12 en quadrature selon l'axe de manière à obtenir quatre quarts 13 en regard des parties statoriques, on voit à la figure 5 que sur chacun des quarts 13 les encoches 14 sont axées sur des plans passant par le centre O, équidistants, et  
35 perpendiculaires au méridien  $m_1$  formant axe de symétrie de la pièce statorique n°1. La périodicité de ces encoches rotariques 14 est un nombre premier par rapport à la périodicité des encoches statoriques 7 en regard avec elles. La forme de ces



encoches ainsi que le nombre sera fonction du nombre de pôles au stator et déterminé afin d'obtenir la plus grande variation possible de la reluctance (pour une distribution de champ donnée) lors d'un déplacement élémentaire  $d\theta$ .

5 Dans la version combinant les deux systèmes asynchrone et à reluctance le rotor sera tel que celui à reluctance avec du cuivre disposé à l'intérieur des encoches avec barres de fermeture aux extrémités pour réunir toutes les barres de cuivre entre elles afin que les courants induits  
10 puissent circuler.

En ce qui concerne le troisième degré de liberté de pivotement autour de l'axe  $z'Oz$ , pour l'obtenir, l'invention a prévu de disposer d'un 3<sup>e</sup> bobinage 15 en quadrature spatiale avec les deux autres, donc disposé dans des encoches 16 méridiennes perpendiculaires aux autres pour chacune des quatre pièces statoriques 5 et de coupler toutes ces bobines supplémentaires 16 afin que les distributions de champ qu'elles induisent tournent toutes dans le même sens autour de l'axe  $z'Oz$ .

20 Dans ce cas les encoches des pièces statoriques 5 seront un damier dont les creux seront occupés par les bobines qui devront ainsi se croiser.

Dans ce cas, bien sûr, les pièces statoriques ne devront pas être feuilletées afin que le flux puisse  
25 circuler dans deux directions perpendiculaires.

REVENDICATIONS

1. Moteur sphérique pour commande directe d'une articulation à rotule autour d'un centre de rotation, caractérisé en ce qu'il comporte une pièce sphérique à axe polaire entourée  
5 concentriquement d'une pièce enveloppante à surface intérieure sphérique laissant libres deux espaces en forme de calottes sphériques diamétralement opposées selon un axe, dit axe polaire, passant par le centre de rotation, la pièce sphérique et la pièce enveloppante constituent, l'une, au moins un inducteur créant un  
10 champ magnétique à composantes distribuées sensiblement dans des plans radiaux par rapport à son axe polaire, l'autre, un induit d'un moteur pivotant autour d'au moins un axe perpendiculaire à l'axe polaire, l'une et l'autre de la pièce sphérique et de la pièce enveloppante constituant ainsi l'une le stator, l'autre le  
15 rotor du moteur.

2. Moteur sphérique selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour faire pivoter l'axe polaire du rotor autour d'un premier axe perpendiculaire à l'axe polaire du stator, la pièce constituant inducteur(s) comprend un inducteur à deux  
20 armatures symétriques par rapport audit premier axe et s'étendant chacun sur un secteur sphérique.

3. Moteur sphérique selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour faire pivoter l'axe polaire du rotor selon un angle stérique, la pièce constituant inducteur(s) comprend deux  
25 inducteurs ayant chacun deux armatures sectorielles symétriques, respectivement, autour de deux axes en quadrature dans un plan de symétrie perpendiculaire à l'axe polaire du stator.

4. Moteur sphérique selon l'une quelconque des revendications 2 et 3, dans lequel l'induit est la pièce sphérique  
30 et l'inducteur l'unité enveloppante, caractérisé en ce que chaque armature est d'une pièce unique ou assemblée constituant noyaux magnétiques et culasse d'un demi-inducteur.

5. Moteur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les noyaux magnétiques s'étendent chacun en arc centré sur le  
35 centre de rotation et perpendiculaire au méridien médian de chaque armature.

6. Moteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que les noyaux magnétiques et les bobines du bobinage, disposées entourant les noyaux magnétiques, sont constitués respectivement,

deux à deux, en paires distribuées sur les deux armatures d'un même inducteur symétriquement par rapport au centre de rotation et par rapport à un axe de symétrie dudit inducteur.

5 3 à 6, caractérisé en ce que deux armatures non appariées sont séparées par un intervalle dans lequel sont logées les têtes des bobines du bobinage ondulé sans recouvrement mutuel.

8. Moteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que chaque armature est feuilletée en 10 tôles disposées selon des méridiens.

9. Moteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'induit est en fer doux massif.

10. Moteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'induit est en fer doux massif recouvert de cuivre.

15 11. Moteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'induit comporte des encoches circulaires selon des plans perpendiculaires à son axe polaire.

12. Moteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'induit comporte, sur chaque secteur vis-à-vis de chaque 20 armature du ou des inducteurs, des encoches distribuées selon des plans diamétraux perpendiculaires au méridien médian du secteur considéré.

13. Moteur selon l'une quelconque des revendications 11 et 12, caractérisé en ce que les encoches contiennent un 25 conducteur en cuivre.

14. Moteur selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, 9 à 11 et 13, caractérisé en ce que, pour faire tourner en outre le rotor autour de son axe polaire, la pièce constituant inducteur(s) comprend un inducteur supplémentaire disposé concen- 30 triquement et créant un champ tournant autour de l'axe polaire de la pièce constituant inducteur.

15. Moteur selon la revendication 14, caractérisé en ce que les armatures comportent, chacune, deux séries d'encoches et deux séries de bobinages croisés dont une série d'encoches et 35 une série de bobinages disposés selon des méridiens.



Fig.3

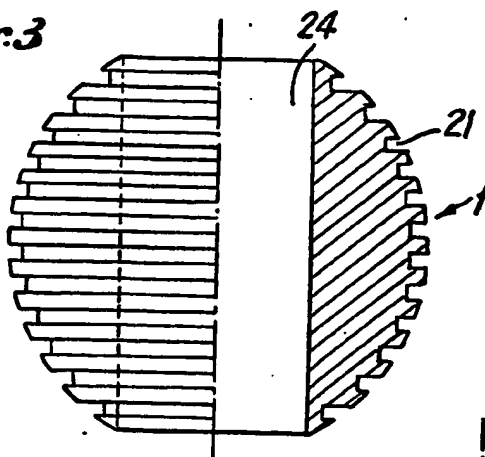


Fig.4

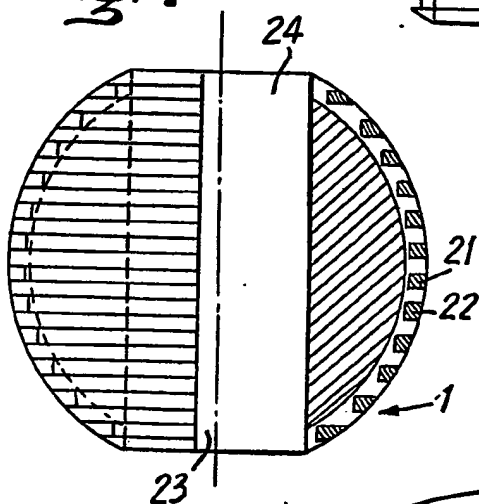


Fig.5

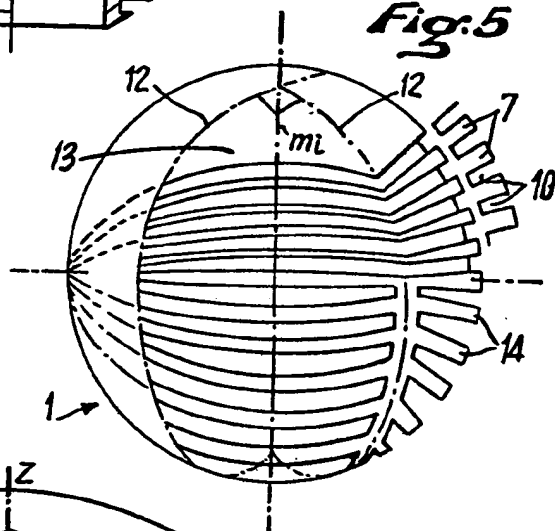


Fig.6

